

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-142672

(43)Date of publication of application : 28.05.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/22

G02B 6/44

(21)Application number : 10-252835

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 07.09.1998

(72)Inventor : DIGIOVANNI DAVID JOHN
WINDELER ROBERT SCOTT

(30)Priority

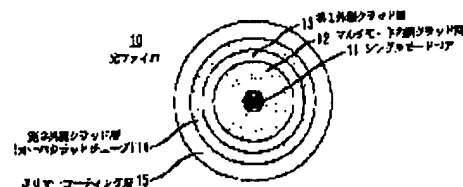
Priority number : 97 58492 Priority date : 11.09.1997 Priority country : US
98 42240 13.03.1998 US

(54) ARTICLE HAVING OPTICAL FIBER OF SILICA BASE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a clad layer pumping optical fiber having such a structural body capable of easily coupling pumping radiation to the optical fiber.

SOLUTION: The refractive index of the inner clad layer of an article having a silica based optical fiber having a core 11 and the inner clad layer 12 enclosing this core is below the refractive index of the core. The inner clad layer is enclosed by an outer clad layer. This outer clad layer has a first outer clad layer 13 between the inner clad layer and a second outer clad layer 14. The core, the inner clad layer, the first outer clad layer and the second outer clad layer are made of the glass obtd. from a preform. The refractive index of the first outer clad layer is below 1.35 and the optical characteristic of the optical fiber of the first outer clad layer is independent from the second outer clad layer.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-142672

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月28日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I
G 0 2 B 6/22		G 0 2 B 6/22
6/44	3 7 6	6/44 3 7 6

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-252835

(22) 出願日 平成10年(1998) 9月7日

(31) 優先権主張番号 60/058492

(32) 優先日 1997年9月11日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/042240

(32) 優先日 1998年3月13日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド

Lucent Technologies
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(72) 発明者 デヴィッド ジョン デジジョヴァンニ
アメリカ合衆国, 07042 ニュージャージ
ー、モントクレア、モントクレア アヴェ
ニュー 126

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

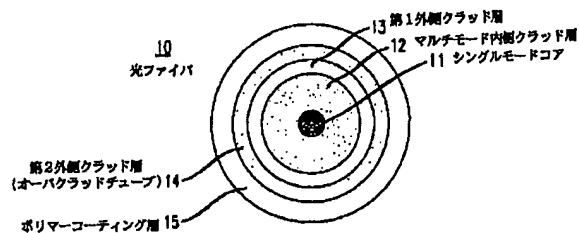
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリカベースの光ファイバを有する物品

(57) 【要約】

【課題】 ポンプ放射を光ファイバに容易に結合できる
ような構造体を有するクラッド層ポンプ光ファイバを提
供すること。

【解決手段】 コア (11) と、このコアを包囲する内
側クラッド層 (12) を有するシリカベースの光ファイ
バ (10) を有する物品において、内側クラッド層の屈
折率 n_i は、コアの屈折率 n_c 以下であり、この内側ク
ラッド層は、外側クラッド層により包囲され、外側クラ
ッド層は、内側クラッド層と第2の外側クラッド層 (1
4) との間に、第1外側クラッド層 (13) を有し、こ
れらのコアと内側クラッド層と第1外側クラッド層と第
2外側クラッド層とはプリフォームから得られたガラス
製であり、第1外側クラッド層は、この第1外側クラ
ッド層の屈折率 n_{01} は1.35以下であり、第1外側クラ
ッド層は、その光ファイバの光学特性が第2外側クラ
ッド層から独立していることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コア(11)と、このコアを包囲する内側クラッド層(12)を有するシリカベースの光ファイバ(10)を有する物品において、

前記内側クラッド層の屈折率 n_i は、コアの屈折率 n_c 以下であり、

この内側クラッド層は、外側クラッド層により包囲され、

前記外側クラッド層は、内側クラッド層(12)と第2の外側クラッド層(14)との間に、第1外側クラッド層(13)を有し、

これらのコアと内側クラッド層と第1外側クラッド層と第2外側クラッド層とはプリフォームから得られたガラス製であり、

前記第1外側クラッド層(13)は、この第1外側クラッド層(13)の屈折率 n_{01} は1.35以下であり、

前記第1外側クラッド層(13)は、その光ファイバの光学特性が第2外側クラッド層(14)から独立していることを特徴とするシリカベースの光ファイバを有する物品。

【請求項2】 前記第1外側クラッド層(13)は、内側クラッド層を第2外側クラッド層に結合するウェブ材料をその光ファイバの軸方向に延びるウェブ材料製の細長い特徴物を有することを特徴とする請求項1記載の物品。

【請求項3】 前記細長い特徴物は、空気で充填されていることを特徴とする請求項2記載の物品。

【請求項4】 前記光ファイバは波長 λ_s でシングルモードファイバであり、

前記コアは、Ge, P, Sn, Bからなるグループから選択された少なくとも1つの元素を含むことを特徴とする請求項2記載の物品。

【請求項5】 前記コアは、Er, Yb, Nd, Ho, Dy, Tmからなるグループから選択された少なくとも1つの元素を含み、

前記光ファイバは、クラッド層ポンプ光ファイバであることを特徴とする請求項2記載の物品。

【請求項6】 前記コアの有効屈折率は、波長 λ_s において長周期グレーティングを形成するよう空間的に変動していることを特徴とする請求項4記載の物品。

【請求項7】 前記内側クラッド層と第2外側クラッド層は、シリカ製であることを特徴とする請求項2記載の物品。

【請求項8】 前記ウェブ材料の屈折率は、シリカの屈折率 n_0 以下であることを特徴とする請求項7記載の物品。

【請求項9】 前記コアは、Geを含みさらにEr, Ybを含むことを特徴とする請求項2記載の物品。

【請求項10】 前記 n_{01} は、1.25以下であることを特徴とする請求項2記載の物品。

【請求項11】 前記物品は、ポンプ放射ソースと、光学キャビティを形成するファイバブラッググレーティングを具備するある長さのシリカ系光ファイバと、ポンプ放射をこのシリカ系ファイバに結合するカプラとを有するクラッド層ポンプファイバレーザであることを特徴とする請求項2記載の物品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】従来の光ファイバは、高屈折率の領域であるコアとそれを包囲する低屈折率の領域であるクラッド層とを有する。そしてこのクラッド層は、通常ポリマーコーティングにより包囲されている。このポリマーコーティングは、通常は伝送用ファイバ中で光を伝播する役割を担っていない。

【0003】公知の「ダブルクラッド」光ファイバは、高屈折率のコアとその周囲を包囲する中間屈折率の領域と、さらにそれを包囲する低屈折率の領域(通常、ポリマー製)からなり、そしてこのポリマー製の低屈折率領域は、光の伝播を行う。

【0004】このようなダブルクラッド光ファイバは、例えばクラッド層ポンプレーザ(cladding pumped lasers)に使用される。このような光ファイバは、稀土類(例、Er, Yb)をドープされたシリカベースのシングルモードコアを有する。中間屈折率の領域は、ポンプ波長でマルチモード導波路となるよう選択された半径を有する(多くの場合)ドープされたシリカ製である。低屈折率領域は、エア(空隙)であり、実際的な理由により(例、ファイバの強化)により通常は低屈折率のポリマー製である。

【0005】低輝度のソース、例えばダイオードアレイからのポンプ光は、ダブルクラッドファイバの内側クラッド層に容易に結合される。その理由は、内側クラッド層が大きな断面積と高い開口数(NA)を有するからである。マルチモードポンプ光がコアと交差すると、稀土類ドープメントにより光は吸収される。ポンプ光とコアとのオーバーラップを増加させるために内側クラッド層は通常円形状態ではない。

【0006】このクラッド層ポンプファイバは、コア中で適宜の波長を光学的にフィードバックさせる構造、通常ファイバブラッググレーティングを具備することによりハイパワーのシングルモードファイバレーザに作り変えることができる。あるいは光ファイバは、シングルモードコア中に信号を通過させて、増幅器としても用いることができる。

【0007】クラッド層ポンプレーザは、通信の分野ではラマンレーザ、ラマン増幅器、再生器を有さない通信システムの遠隔地に配置されたエルビウム増幅器および

ハイパワーのEr/Yb増幅器をポンプするのに使用される。さらにまたこれらのコンパクトで半導体製のハイパワー高輝度のレーザは、多くの非通信分野、例えば材料処理、印刷、医療用光学機器等に多くのアプリケーションが見いだされる。このようなクラッド層ポンプファイバの大きな利点は、ブロードストライプのダイオードレーザのような低輝度光をシングルモードファイバ中で高輝度光に変換できることである。

【0008】デュアルクラッド（二重クラッド）光ファイバを用いたクラッド層ポンプファイバレーザおよび他のデバイス、優れた特徴を有するが、光ファイバに結合されるポンプ光の量を増加することが望ましい。本発明はポンプ放射の光ファイバへの結合を容易にするような構造体を有するクラッド層ポンプ光ファイバを提供することである。類似の構造の光ファイバは、温度依存性を低減させた長周期グレーティングを提供できる。

【0009】光ファイバ中に長周期グレーティングを形成することは、過酷なプロセスであり、通常ある長さの光ファイバからポリマー製コーティング層を除去し、グレーティングの特性をモニタしながら光ファイバのコアにグレーティングを書き込み、そして光ファイバを再びコーティングするプロセスを含む。このプロセスにおいては、光ファイバを再コーティングすることにより、長周期グレーティングの光学特性を変化させてしまうことがしばしば観測されているが、その理由はファイバクラッド層を包囲する媒体として空気（屈折率1）をポリマー（屈折率が1以上）でもって置換するためである。

【0010】かくして再コーティングに強い（感受性のない）光ファイバ、即ち光ファイバの光学特性が最も外側（プリフォームから抽出された）のガラス製クラッド層を直ちに包囲する領域の屈折率に依存しないような光ファイバを得ることが望ましい。本発明はこのような再

コーティングに強い光ファイバを開示するものである。

【0011】米国特許第3,902,879号は、クラッド層を軸方向に延びる細長いオープンチャネルを有するコアクラッド層インタフェースを有する光ファイバを開示している。

【0012】米国特許第Re28,664号は、透明なフィルム部分の手段により周辺の中空のシリンダ状部分の内側に透明な中央部分が固着されたファイバを開示している。

【0013】米国特許第3,712,705号は、環状の誘電体製ジャケット中に配置された多角形の断面を有する誘電体製のコアを含むエアクラッド光ファイバを開示している。

【0014】米国特許第4,046,537号は、薄いサポート要素により保護スリーブ内にサポートされた導光性のコアを有するファイバを開示している。

【0015】米国特許第3,950,073号は、外側円筒状ガラス製ジャケット中にルーズに配置されたガラス製コアを含む光ファイバを開示している。

【0016】

【用語の定義】本明細書で使用されるマルチモードポンプ導波路の「開口数」（numerical aperture (NA)）は、 $(n_i^2 - n_0^2)^{1/2}$ で定義できる。ここで、 n_i は内側クラッド層の屈折率で、 n_0 は第1の外側クラッド層の有効屈折率である。

【0017】非均質の光ファイバ（例えば、第1の外側クラッド層）の「有効屈折率」は、そのファイバを構成する複数の構成要素の屈折率の重み付き平均である。2種類の構成要素からなる領域の有効屈折率 n は次式で定義できる。

【数1】

$$(n_1 n_2) \left(\sqrt{f_1 n_2^2 + f_2 n_1^2} \right)^{-1} \leq N \leq \sqrt{f_1 n_1^2 + f_2 n_2^2}$$

ここで、 n_1 、 n_2 は二種類の構成要素の屈折率で、 f_1 、 f_2 はそれぞれの堆積分立である。

【0018】「ダウンドープ」シリカとは、屈折率を低下させるドーパント、例えばフッ素を含有するシリカである。

【0019】「長周期」ファイバグレーティングとは、順方向に伝播する基本モード光を高次モードに結合するよう選択された繰り返し距離 Λ を有する屈折率ブラッググレーティングを言う。このようなモードは、大きな半径において大きなエネルギーを有しているためにこれらのモードはクラッド層の屈折率に敏感であり、そしてこのクラッド層の屈折率は、通常ポリマーコーティングの温度依存性が大きく（シリカの20倍に）なる。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目

的は、ポンプ放射を光ファイバに容易に結合できるような構造体を有するクラッド層ポンプ光ファイバを提供することである。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明は、特許請求の範囲に記載された特徴を有する。本発明は、従来のデュアルクラッドファイバに比較して、マルチモードポンプ導波路に対し大きな開口数（NA）を有する光ファイバを提供するおよび／または再コーティングに強い新たな構造の光ファイバを含む物品（このような物品の例としては、クラッド層ポンプレーザ即ち増幅器または長周期グレーティングを有する光ファイバあるいはクラッド層ポンプレーザ、増幅器および／または長周期グレーティングを有する光ファイバを含む通信システムである）で具体化される。

【0022】開口数を増加させることは、光ファイバに結合されるポンプ光を増加させることにつながる。開口数の増加（および／または再コーティングに対する不感受性）は、従来技術のそれよりも低い屈折率を有するクラッド領域（第1外側クラッド領域）を具備した結果である。これは第1外側クラッド層をエアクラッド領域に形成することにより達成される。

【0023】ある大きさのクラッド領域の直径に対しては、NAが増加するにつれてより多くの数のソースからのポンプ光をファイバ中に結合することができる。言い換えると、ある大きさのポンプパワーに対しては、より大きなNAを有するファイバは、小さな内側クラッド断面でよいことになる。このことはポンプ光強度が大きくなれば稀土類イオンの反転が大きくなり、クラッド領域ポンプファイバレーザあるいは増幅器の性能が向上することになる。さらにまた本発明の光ファイバをクラッド領域ポンプレーザに用いることにより、ポンプ光の不整合の許容度が改善され、標準のポリマーコーティングの使用が可能となる。

【0024】さらに具体的に説明すると、本発明は有効屈折率が n_c のコアとこのコアの周囲を接触しながら包囲する有効屈折率が $n_i < n_c$ である n_i の内側クラッド層を有し、さらにこの内側クラッド層が外側クラッド層に包囲される形状のシリカベースの（即ち、50%以上あるいは80%以上のシリカを含有する）ある長さの光ファイバを含む。

【0025】この外側クラッド層は、内側クラッド層と第2の外側クラッド層との間に第1の外側クラッド層を有する。そしてこの第1の外側クラッド層の有効屈折率は、 $n_{01} < n_i$ となるよう選択される。この第1の外側クラッド層は、ポンプ光が第2の外側クラッド層に実質的に行かないように、かつ光ファイバの光学特性が第2のクラッド層およびこの第2のクラッド層の外側にあるいかなる領域からも独立しているように選択される。

【0026】ここで、「ポンプ光が実質的に外側クラッド層に行かない」とは、ファイバ中の関連光パワー（例えば、ポンプパワーあるいは信号パワー）の10-3以下しか第1外側クラッド層を包囲する光ファイバの領域中に存在しないことを意味する。この条件が満たされると光ファイバの光学特性は、第2外側クラッド層（および光学ポリマーコーティング層）からほぼ実質的に独立していると言える。

【0027】この第1の外側クラッド層の有効屈折率 n_{01} は、純粋な融解シリカの屈折率 n_0 以下である。通常 n_{01} は、1.35以下で好ましくは1.25以下である。

【0028】本発明の一実施例においては、このことはかなりの部分が空隙（empty space）である第1外側クラッド領域に、第2外側クラッド層を内側クラッド層に固定するような指示構造体（web）である第1外側クラ

ッド層の小部分（50%以下好ましくは25%以下）を具備させることにより達成させる。このウェブ材料の屈折率は必ずしもその必要はないが、 n_0 以下である。

【0029】この第2の外側クラッド層は、本質的に光学的に不活性であり、機械的保護を光ファイバに与えかつ光ファイバを引き抜く前にプリフォームの元素をその位置に保持するためのものである。実験的にはこの第2外側クラッド層は、シリカ領域である。コアと内側クラッド層と第1外側クラッド層と第2外側クラッド層とは、通常プリフォームから得られたガラスを含有し、そしてこのファイバのプリフォームから得られたガラスボディは、保護用ポリマーコーティング層により包囲されている。

【0030】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の光ファイバ10を表す。同図において、11はシングルモードコアを、12はマルチモード（ポンプ波長において）内側クラッド層を、13は第1外側クラッド層を、14は第2外側クラッド層を、15はポリマーコーティング層を表す。ここで重要な点は、第1外側クラッド層13は、第1外側クラッド層13の有効屈折率（関連波長で）は、純粋シリカの屈折率 n_0 （例、 ≤ 1.35 さらには ≤ 1.25 ）である。

【0031】このことは大きな空隙（エア）である第1外側クラッド層13に、この第1外側クラッド層13の第2外側クラッド層14を内側クラッド層12に固定して保持するような指示構造となる比較的小さな堆積部分（25%以下）を具備することにより達成される。図面を明瞭にするために、この指示構造は図1には示していない。上記の種類第1外側クラッド層13は、「エアクラッド」領域とも称する。

【0032】図7は、従来技術に係るデュアルクラッドファイバの有効屈折率プロファイルを表す。同図において、71はコアを72は内側クラッド層を73は外側クラッド層を表す。このコア71は、アップドープした（屈折率を上げた）シリカ製で、内側クラッド層72は通常のシリカで、外側クラッド層73はエア（空気）の屈折率である1よりもはるかに大きい屈折率 n_p を有する低屈折率ポリマーである。

【0033】図8は、本発明の光ファイバの有効屈折率プロファイルを表す。同図において、83は第1外側クラッド層、84は第2外側クラッド層、85はポリマーコーティング層を表す。コア71と内側クラッド層72は図7に示したものとほぼ同じものである。第1外側クラッド層83の有効屈折率は、シリカの屈折率1.45よりもはるかに小さく実際には1に近い。

【0034】第2外側クラッド層84は一般的にシリカ製である。この第2外側クラッド層84は、光ファイバの光学特性に対し、何等影響を及ぼさず、光ファイバの補強用である。ポリマーコーティング層85もまた光フ

ファイバの光学特性になんら影響を及ぼさず保護用である。ポリマーコーティング層85は n_0 よりも大きい(さらにまた n_c よりも大きい)有効屈折率 n_p を有する。この点が図7の従来技術に係る光ファイバ($n_p < n_i < n_c$)と比較される点である。

【0035】エアクラッドファイバは、クラッド層ポンプファイバレーザに使用されるだけでなく、長周期グレーティング用にも使用できる。前者のアプリケーションにおいては、コアは一般的に従来のドーパント(例、Geおよび/またはAl)以外に稀土類ドーパント(例、Er、Yb、Nd、Ho、Dy、Tmの1つあるいは複数のもの)を含有する。

【0036】後者のアプリケーションにおいては、コアは従来方法によりグレーティングに書き込みを容易にするためにGe、P、Sn、Bの1つあるいは複数の元素を含有する。後者のアプリケーションにおいては、コアと内側クラッド層とはさらにシングルモードの信号放射のみが(例、 $1.55\mu\text{m}$ 波長)のみがガイドされるように選択される。

【0037】本発明によるエアクラッドファイバをクラッド層ポンプレーザ用に用いることは、従来のクラッド層ポンプレーザに比較してこのエアクラッドファイバで大きなNAが達成できる点にある。一方本発明のファイバを長周期グレーティング用に用いることは、温度に影響されない長周期グレーティングを製造することおよび従来のファイバを再コーティングする際に経験するグレーティングの特性の変動を回避して、グレーティングを容易に製造できる点にある。

【0038】長周期グレーティングは、温度変化および再コーティングの際にそのスペクトラム特性が変動する。この変動の主な原因は、長周期グレーティングにおける従来の光ファイバのポリマーコーティングの特性(例、屈折率)の変化である。本発明による光ファイバのエアギャップは、ポリマーコーティングを光導波領域と切り離し、これによりポリマーコーティングを長周期グレーティングの温度依存性の原因から取り除いている。

【0039】本発明によるシリカ系ファイバのコアと内側クラッド層は、例えばMCVDのような従来方法により形成できる。このコアのガラスは、内側クラッドチューブの内側に直接堆積され、その結果得られたプリフォームを従来方法により中実ロッドにコラップス(潰す)させる。このコア材料は、Geを含有し所望の屈折率プロファイルを与える。本発明によるクラッド層ポンプファイバにおいては、一種類あるいは複数種類の稀土類ドーパント(例、Er、Yb)を含有する。内側クラッド層は一般的にアンドープ(ドーピングしていない)あるいはダウンドープのシリカである。

【0040】コア/内側クラッドプリフォームの完成後、この構造体を従来方法で完成させる。この構造体

は、第2外側クラッド層をコア/内側クラッド領域に固定した位置に保持するような1つあるいは複数の指示構造を具備する。これは一種類あるいは複数種類のシリカ製キャピラリチューブをコア/内側クラッド層プリフォームの周囲に固着し、この組立体をシリカ製チューブで覆う(overcladding)ことにより行われる。このキャピラリチューブは、その両端を閉じて、そしてその両端をプリフォームに溶融することによりプリフォームに固着される。

【0041】図2は、光ファイバを引き抜く前の組立体を表し、第2外側クラッド層14はオーバクラッドチューブでこれが第2の外側クラッド層になる。そして21はシリカ製のキャピラリチューブを表し、これが指示構造体(web)となる。選択的に形成されるポリマーコーティングは、図示していない。

【0042】キャピラリチューブ21は、離間して配置されるかあるいは接触して配置されている。スペーサが特定された数のチューブの場所に挿入され、形成されるウェブの数と厚さを制御している。隙間スペース22は、大気中に開放されているかあるいはシールされている(閉じられている)のいずれかでもよい。一般的に隙間スペース22は、キャピラリチューブ21が互いに接触している場合には、シールされておらず(閉じられてはおらず)キャピラリチューブが離間して配置されている場合には、シールされている(閉じられている)。これらの準備作業が完了した後、光ファイバはプリフォームから引き抜かれるが、その際に低温でウェブとクラッド層との間のネック領域(necking region)を最少にしている。

【0043】大気に近い領域がまず表面張力により炉内でコラップスされる。光ファイバがプリフォームから引き抜かれるにつれてこの閉鎖領域の堆積が減少するが、これは内部圧力が表面張力と毛管力を克服する程度に高くなるまで行われる。この時点でこれらの領域が開放される。これらの閉鎖領域の圧力は、ガラスの断面積対閉鎖領域の面積が光ファイバがあらゆる直径になる間保持されるように自己調整される。一方、大気に開放している領域は、光ファイバが引き抜かれる間コラップスされるが、その理由は、それらは表面張力に対抗する圧力を形成しないからである。この原理は所望の指示構造を有する光ファイバの製造に適用できる。

【0044】図3は、本発明の光ファイバの断面を示し、シリカ製キャピラリチューブが近接して配置され、スペーサは使用されず、隙間スペースは閉じられない。31はエアスペースを32は指示構造体を表す。選択的事項としてのポリマーコーティングは図示していない。

【0045】図4は、図3と類似する本発明の光ファイバの断面図を示すが、隙間スペースは閉じられている。41は指示構造体を、42はキャピラリチューブのエア

スペースを、43は隙間スペースのエアスペースを表す。

【0046】図5は、本発明の光ファイバの断面図を示し、スペーサを用いて指示構造体を与えるキャピラリチューブが離間されている。このキャピラリチューブとキャピラリチューブ間のスペースは閉じられている。

【0047】光ファイバがプリフォームから引き抜かれるにつれて、光ファイバはポリマー保護コーティングが塗布される。これは従来一般的に行われることで、これ以上の説明は行わない。

【0048】本発明による光ファイバは、クラッド層ポンプレーザあるいは増幅器内の従来技術のデュアルクラッドファイバに置き換えられ、従来のデュアルクラッドファイバが使用されるあらゆる状況で本発明の光ファイバを使用することが考えられる。本発明の光ファイバは、従来の類似のデュアルクラッドファイバよりも多くのポンプ光を光ファイバに結合することができる。本発明の光ファイバは、円形ではない内側クラッド表面を有するよう形成することでき、これによりモードミキシングを強化することができる。

【0049】本発明による光ファイバは、従来技術の長周期光ファイバグレーティングに置き換えられ、従来の長周期光ファイバグレーティングが使用されるあらゆる状況で本発明の光ファイバを使用することが考えられる。本発明によるエアクラッドファイバ内の長周期グレーティングは、従来の長周期グレーティングよりも温度依存性が低くこれにより再コーティングの際に安定する。

【0050】図6は、本発明の光ファイバの走査型電子顕微鏡による断面図を表す。第2外側クラッド層をコア／内側クラッド層に固着させるエアクラッドとウェブがはっきりと見て取れる。このファイバは、ポリマーコーティングを有していない。

【0051】図9は、本発明によるクラッド層ポンプファイバレーザを表す。ポンプソース91はポンプ放射光92を放出し、これを従来の光学装置93により光ファイバ94のコア／内側クラッド領域に結合する。このマルチモードポンプ放射光が光ファイバのコア内のドーパント原子を励起し、レーザ放射97の励起放射を行わせる。95、96は従来のファイバブラッググレーティングでこれらがレーザの光学キャビティを規定する。レーザ放射97が得られる。

【0052】実験例コア／内側クラッドプリフォームが、1モル%Gaと、0.5モル%Ybと、4モル%Pと、6モル%Aiをドーブしたシリカをシリカ製チューブ（外径20mm、内径14.7mm）の内側に堆積（MCVDにより）することにより形成された。このプリフォームを1.72mmの直径のコア（コアの Δn は、0.0048）と、13.45mmの外径を有する中実ロッドにクラップスした。このプリフォームは、1

9×25mmのシリカ製チューブを用いて21.1mmの外径にオーバクラッドした。

【0053】このプリフォームを11.9mmの外径となるよう引き延ばし、16本のシリカ製キャピラリチューブ（0.508mm×0.718mm）を2本のチューブの直径分だけ離間して配置することにより包囲した。個々のキャピラリチューブは、その両端で閉じて、その端部をプリフォームに溶融することによりプリフォームロッドに固着した。この組立は、その後19mm×25mmのシリカ製オーバクラッドチューブ内に挿入された。この組立の一端をこのオーバクラッドチューブがコアロッドに結合し、シールされた端部を形成するよう十分加熱した。

【0054】ファイバがシールされた端部の反対端部からその後引き抜かれ、キャピラリチューブ間のギャップが閉鎖されたキャビティを接触させないようにした。引き抜き温度は1990℃で、引き抜き速度は0.3m/秒で、125 μ mの直径のファイバが得られた。従来のUV固化ポリマーを従来方法により塗布した。かくして得られた光ファイバのコアの直径は、5.8 μ mで、内側クラッド層の直径は71 μ mで、第1外側クラッド層の厚さは2.7 μ mで、ウェブの厚さは0.63 μ mであった。この光ファイバのカットオフ波長は900nmであった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光ファイバの断面図

【図2】製造の中間段階における本発明の光ファイバの断面図

【図3】本発明の光ファイバの断面図

【図4】本発明の光ファイバの断面図

【図5】本発明の光ファイバの断面図

【図6】エアクラッド光ファイバの断面の走査型電子顕微鏡の写真を模擬した図

【図7】従来技術に係るデュアルクラッドファイバの有効屈折率プロファイルを表す図

【図8】本発明の光ファイバの有効屈折率プロファイルを表す図

【図9】本発明による装置であるエアクラッド光ファイバを具備したクラッド層ポンプレーザを表すブロック図

【符号の説明】

10 光ファイバ

11 シングルモードコア

12 マルチモード内側クラッド層

13 第1外側クラッド層

14 第2外側クラッド層（オーバクラッドチューブ）

15 ポリマーコーティング層

21 キャピラリチューブ

22 隙間スペース

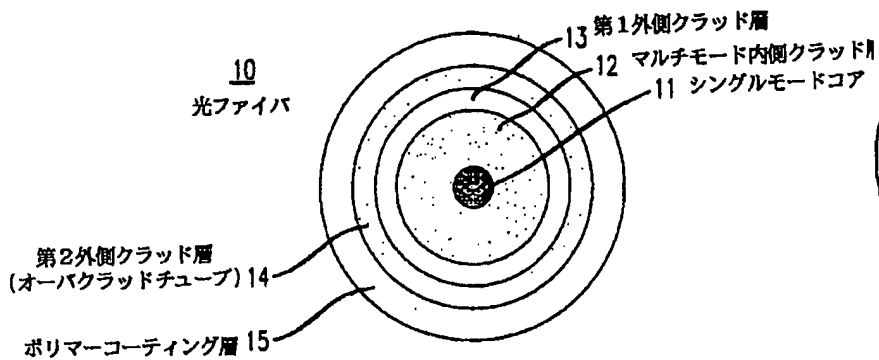
31 エアスペース

32、41 指示構造体

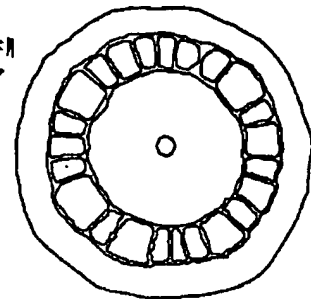
42 キャピラリチューブのエアスペース
 43 隙間スペースのエアスペース
 71 コア
 72 内側クラッド層
 73 外側クラッド層
 83 第1外側クラッド層
 84 第2外側クラッド層
 85 ポリマーコーティング層

91 ポンプソース
 92 ポンプ放射光
 93 光学装置
 94 光ファイバ
 95, 96 ファイバブラググレーティング
 97 レーザ放射
 図7 (従来技術) 有効屈折率 半径
 図8 有効屈折率 半径

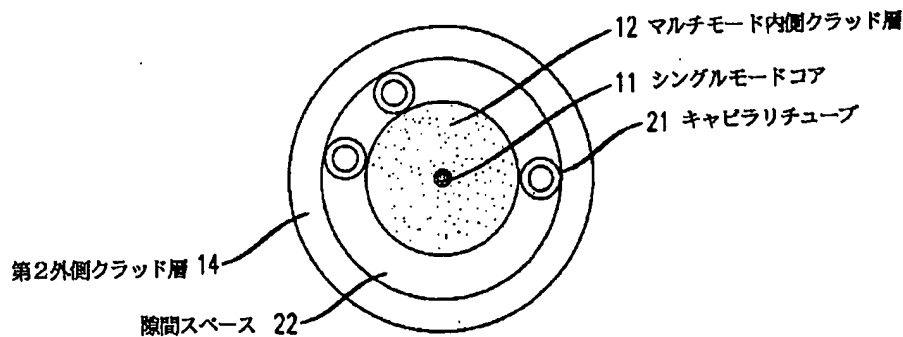
【図1】



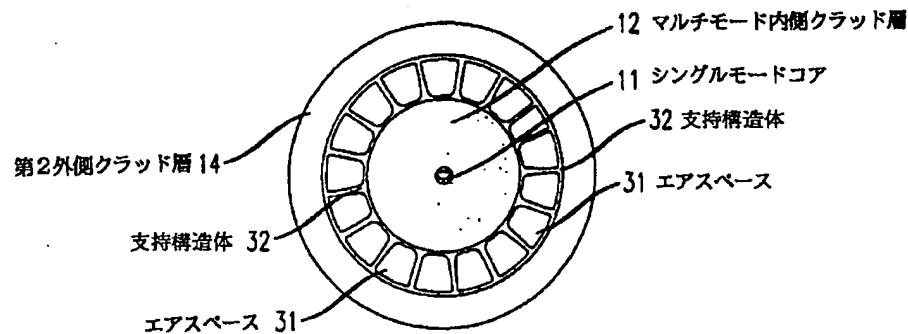
【図6】



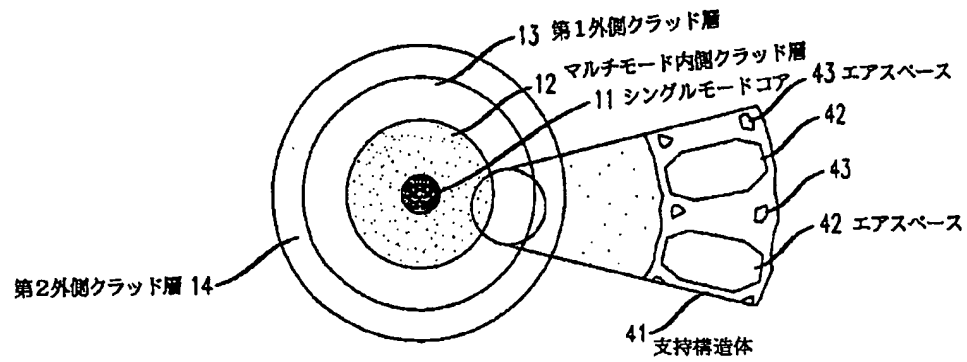
【図2】



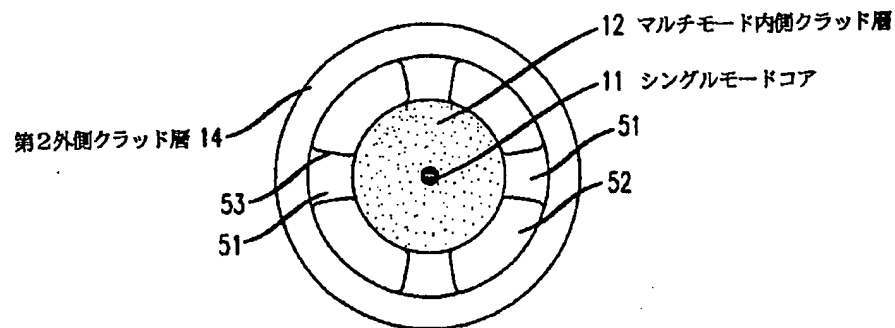
【図3】



【図4】

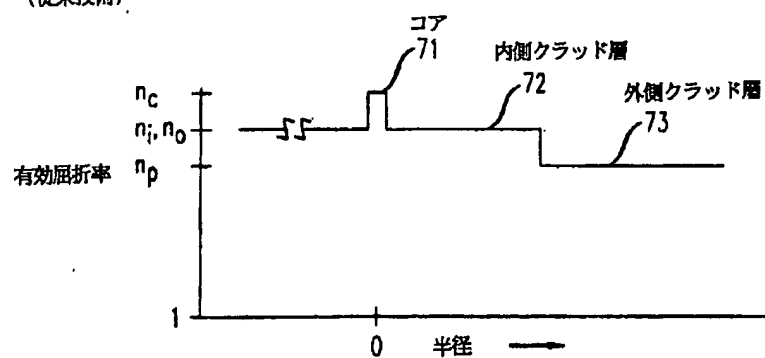


【図5】

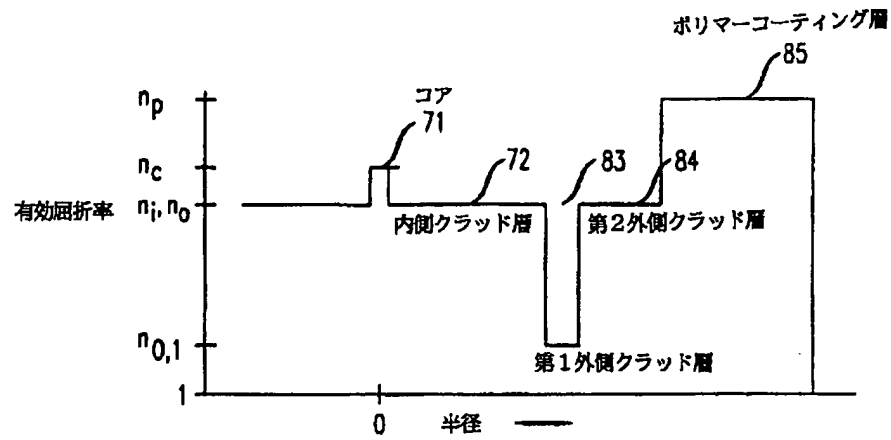


【図7】

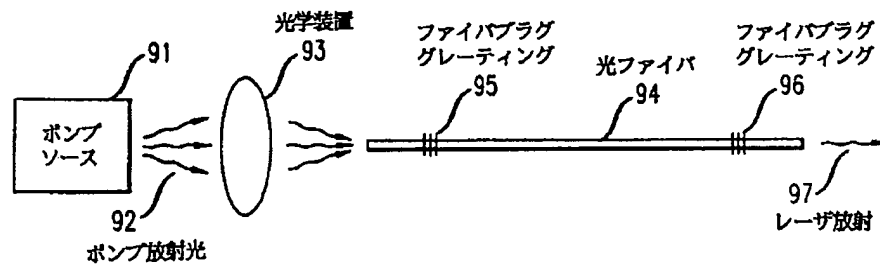
(従来技術)



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(71) 出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72) 発明者 ロバート スコット ウィンデラー

アメリカ合衆国, 07928 ニュージャージ
ー, チャタム, ノース パッサイク アヴ
ェニュー 37